

## Émissions provenant des animaux

# Réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'élevage d'animaux de rente

Daniel Bretscher<sup>1</sup>, Christof Ammann<sup>1</sup>, Chloë Wüst<sup>1</sup>, Aurelia Nyfeler<sup>1</sup> et Daniel Felder<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agroscope, 8046 Zurich, Suisse

<sup>2</sup>Office fédéral de l'agriculture, OFAG, Berne, Suisse

Renseignements: Daniel Bretscher, e-mail: daniel.bretscher@agroscope.admin.ch



La production animale est à l'origine d'environ 85 % des émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture: Étable expérimentale sur les émissions d'Agroscope à Tänikon. (Photo: Gabriela Brändle, Agroscope)

## Introduction

Environ la moitié des denrées alimentaires produites en Suisse proviennent de la production animale. Ceci implique qu'environ 60 % des terres arables sont consacrées à la production d'aliments pour animaux. À ceci s'ajoutent plus de 750 000 ha de surface herbagère dans le pays et 250 000 ha de terres cultivées à l'étranger pour les fourrages importés. Compte tenu de sa forte consommation de surfaces et de ressources, la production animale contribue davantage aux impacts négatifs sur l'environnement que les autres branches de production agricole. Selon l'inventaire des gaz à effet de serre de la Suisse, le secteur agricole était responsable de 12 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) en 2016.

Le poids important de la production animale en termes d'émissions de GES peut être attribué, entre autres, aux pertes élevées lors de la conversion alimentaire. En règle générale, seule une petite partie (5 à 50 %) de l'énergie et des nutriments contenus dans les plantes fourra-

gères et absorbés par les animaux est transformée en aliments valorisables par les humains. Il existe des différences significatives entre les catégories d'animaux. Les ruminants sont considérés comme particulièrement inefficaces. Ils produisent également de grandes quantités de méthane (CH<sub>4</sub>) du fait de la dégradation microbienne de la cellulose et d'autres hydrates de carbone dans la panse (fermentation entérique). D'un autre côté, il faut garder à l'esprit que sans les ruminants, les grandes surfaces herbagères suisses ne pourraient pas être utilisées pour la production alimentaire.

Contrairement à d'autres secteurs de l'inventaire comme l'énergie ou l'industrie, l'agriculture n'a jusqu'à présent guère fait l'objet de programmes ambitieux de réduction des GES. Dans le message sur la révision totale de la loi sur le CO<sub>2</sub>, toutefois, un objectif de réduction des émissions est désormais également défini pour l'agriculture. Sur la base de la stratégie Climat pour l'agriculture, l'objectif de réduction d'ici 2030 devrait être de 22 % par rapport à 1990 (OFAG 2011). Selon le projet de loi, l'inventaire national des GES de la Suisse devra servir à vérifier si l'objectif du secteur agricole a été atteint. La présente étude quantifie les potentiels de réduction de treize mesures fréquemment mentionnées et de deux scénarios avec des structures agricoles modifiées. L'accent est mis sur les mesures techniques portant sur la production, mais les mesures portant sur les structures et la consommation telles que le changement des habitudes alimentaires et les taxes d'incitation économique sont également examinées à des fins de comparaison. En raison de la complexité de la question et des nombreuses hypothèses et conditions de base pour la modélisation, il n'est pas possible de prétendre effectuer un calcul exact des réductions d'émissions susceptibles d'être mises en pratique. L'analyse sert plutôt à comparer les différents potentiels et à fixer des priorités pour la mise en œuvre future.

## Matériel et méthodes

Tous les calculs et analyses des potentiels de réduction présentés dans cette étude sont basés sur les modèles et méthodes de l'inventaire national des GES (OFEV 2018). Les inventaires nationaux de GES sont établis conformément aux lignes directrices de la Convention-cadre sur les changements climatiques et du Protocole de Kyoto. Les émissions attribuables à l'activité agricole se répartissent sur plusieurs secteurs (tabl. 1). L'ampleur des émissions considérées ici est donc définie par les limites du système correspondant, c'est-à-dire que seules les émissions générées dans les exploitations agricoles en Suisse sont prises en compte. Sont exclues de cette analyse territoriale liée à la production toutes les émissions résultant de prestations antérieures dans la fabrication d'intrants agricoles, d'équipements, de machines et de biens immobiliers. Les transferts d'émissions liés à l'importation et à l'exportation de denrées alimentaires ne sont pas non plus inclus dans les calculs (Bretschler *et al.* 2015).

Afin de pouvoir représenter l'importance de la production animale et des différentes catégories d'animaux pour les émissions de GES et les mesures de réduction correspondantes, toutes les émissions doivent être affectées aux différentes branches de production animale et végétale. Lorsque la répartition directe des émissions n'était pas possible, elles ont été réparties indirectement sur la base des surfaces herbagères, des surfaces fourragères et des surfaces de production végétale et sur la base des normes relatives aux besoins des cultures en azote (N). La répartition des émissions provenant de la production animale entre les différentes catégories d'animaux de rente reposait sur le nombre d'unités gros bétail.

Pour estimer le potentiel de réduction des mesures, les facteurs d'émission individuels ou les paramètres de calcul ont été ajustés sur la base de données bibliographiques, ou les données structurelles (pourcentages de surfaces, effectifs animaux) ont été modifiées en fonction des résultats des calculs des scénarios (tabl. 2). Lorsque ce n'était pas encore fait, les divers modèles de l'inventaire des GES ont été reliés entre eux afin de pouvoir représenter les effets de suivi et d'adaptation. En cas de réduction des pertes d'azote par exemple, la quantité d'engrais azoté de synthèse utilisée était réduite en conséquence.

Les potentiels de réduction calculés ici représentent des potentiels techniques maximaux, sans tenir compte des restrictions économiques ou des autres restrictions dans la mise en œuvre. En général, il a été supposé que

## Résumé

La politique agricole et climatique suisse s'est fixé pour objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture d'au moins un tiers d'ici à 2050 par rapport à 1990. Cet objectif peut être atteint par des mesures techniques portant sur la production et/ou par le changement des structures agricoles (parts des surfaces, effectifs animaux). La production animale est responsable d'environ 85% des émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture. Sur la base des modèles et méthodes de l'inventaire national des gaz à effet de serre, les potentiels de mesures de réduction dans le domaine de la production animale ont donc été examinés. Les mesures techniques portant sur la production se caractérisent par des potentiels de réduction plutôt limités et/ou par des conflits d'objectifs avec d'autres impacts environnementaux, ainsi que par des difficultés techniques de mise en pratique. L'objectif du secteur agricole a donc peu de chances d'être atteint avec ce type de mesures. Une réorganisation des structures agricoles, accompagnée d'un changement des habitudes alimentaires allant vers une alimentation davantage basée sur les produits végétaux, recèle en revanche de grands potentiels et constitue une solution prometteuse.

la mesure était appliquée dans l'ensemble de l'agriculture suisse. La réduction des émissions est indiquée en  $\text{kt CO}_2\text{eq}\cdot\text{a}^{-1}$  (kilotonnes d'équivalent  $\text{CO}_2$  par an) par rapport à un scénario *Business-as-usual* (Möhring *et al.* 2015) sans changement dans la technique de production.

## Résultats

La répartition calculée des émissions de GES en 2016 (7230  $\text{kt CO}_2\text{eq}\cdot\text{a}^{-1}$  au total) entre les différentes sources d'émissions et catégories d'animaux sert de point de départ aux potentiels de réduction (fig. 1). Près de 15% des émissions ont pu être attribuées à la production végétale et 85% à la production animale (y compris la production fourragère). Parmi les émissions issues de la production animale, les émissions de  $\text{CH}_4$  inhérentes à la digestion sont les plus importantes (46%), suivies des émissions provenant de la production fourragère (24%, principalement du protoxyde d'azote [ $\text{N}_2\text{O}$ ]) et du stockage des engrais de ferme (15% sous forme de

CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O). La catégorie animale la plus importante est celle des bovins, avec 88 % des émissions issues de la production animale, les vaches laitières représentant à elles seules 56 % des émissions. Parmi les espèces monogastriques, les porcs (5 %) sont ceux qui pèsent le plus lourd dans la balance.

Selon les hypothèses du *Swiss Agricultural Outlook* (Möhring *et al.* 2015), les émissions diminueront légèrement de 122 kt CO<sub>2</sub>eq\*a<sup>-1</sup> en 2016 pour atteindre un total de 7109 kt CO<sub>2</sub>eq\*a<sup>-1</sup> en 2030, laissant un écart de 757 kt CO<sub>2</sub>eq\*a<sup>-1</sup> par rapport à la cible de la stratégie Climat pour l'agriculture. Les potentiels de réduction des GES des mesures analysées sont représentés à la figure 2, en comparaison directe avec cet écart. Une réduction de 31–480 kt CO<sub>2</sub>eq\*a<sup>-1</sup> peut être obtenue avec certaines mesures techniques portant sur la production. En comparaison, le potentiel des mesures basées sur la structure et la consommation est nettement plus élevé avec 1500–2000 kt CO<sub>2</sub>eq\*a<sup>-1</sup>. Les trois interventions économiques simulées visant à contrôler les structures agricoles et/ou la consommation (taxe sur les GES, taxe à la consommation, redevance incitative sur les apports azotés) ne se traduisent cependant que par des réductions de l'ordre de 60 à 760 kt CO<sub>2</sub>eq\*a<sup>-1</sup> et ne permettent donc d'exploiter les potentiels théoriquement possibles que partiellement.

## Discussion

### Alimentation animale

L'alimentation influe sur les émissions de GES de quatre façons: i) l'efficacité globale de la transformation de fourrage, ii) l'inhibition spécifique des micro-organismes méthanogènes, iii) les caractéristiques des engrais de ferme et iv) les émissions liées à la fabrication des aliments pour animaux. L'efficacité de la transformation du fourrage est un paramètre clé qui influence à la fois les émissions directes provenant du processus de digestion et les émissions provenant du stockage des engrais de ferme et des pâturages. La mesure idéale devrait optimiser tous les processus et réduire les émissions de CH<sub>4</sub> de manière significative et durable. Dans le cadre d'une étude d'AgroCleanTech, différentes rations de vaches laitières typiques de la Suisse ont été examinées du point de vue de la digestibilité, mais aussi de tous les critères importants en termes d'émissions. À cette occasion, il a été démontré qu'il n'y a que peu de différences entre les rations de fourrages couramment utilisées dans la pratique.

Dans le passé, les nutriments distribués aux porcs et à la volaille, en particulier, ont été de mieux en mieux

**Tableau 1 | Catégories de sources et de puits de gaz à effet de serre (GES) de l'inventaire national des GES attribuables à l'activité agricole et émissions correspondantes pour 2016 (kt CO<sub>2</sub>eq = kilotonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>; LULUCF = Land Use, Land-Use Change and Forestry).**

Secteur	Spécification	kt CO <sub>2</sub> eq
1 Énergie	GES provenant de la combustion de carburants et combustibles fossiles dans les véhicules et les machines agricoles ainsi que dans les serres et les installations de séchage	630
3 Agriculture	· Émissions de CH <sub>4</sub> provenant de la digestion	3320
	· Émissions de CH <sub>4</sub> et de N <sub>2</sub> O provenant du stockage des engrais de ferme	1100
	· Émissions de N <sub>2</sub> O résultant de l'application d'engrais azotés (N) et de l'exploitation des terres agricoles	1490
	· Émissions de CO <sub>2</sub> dues à l'épandage de chaux et d'engrais à base d'urée	47
4 LULUCF	Sources et puits de CO <sub>2</sub> des sols agricoles	630
5 Déchets	Pertes de CH <sub>4</sub> provenant des usines de biogaz, émissions de CH <sub>4</sub> provenant du compostage en bordure des champs, émissions de CH <sub>4</sub> et de N <sub>2</sub> O provenant de l'incinération des déchets agricoles.	9

adaptés aux besoins des animaux. Ceci explique le potentiel de réduction relativement faible qui subsiste pour une **alimentation optimisée en azote (AOA)**. Avec le bétail, le potentiel est légèrement plus élevé, mais les problèmes de mise en pratique sont plus importants. L'herbe fraîche a généralement une teneur très variable en azote, qui est difficile à prévoir et souvent supérieure aux besoins des animaux. Une gestion adaptée permettrait d'influencer la qualité des fourrages, mais impliquerait de procéder à des analyses régulières et nécessiterait des connaissances techniques. Par ailleurs, les cultures mixtes à base de légumineuses pourraient réduire les besoins en engrais azotés et, ainsi, les émissions de N<sub>2</sub>O de la production fourragère. Toutefois, la teneur plus élevée en N dans les fourrages correspondants peut entraîner une augmentation des émissions provenant des engrais de ferme. Enfin, un excès d'azote dans la ration peut également être évité en donnant aux animaux des compléments alimentaires riches en énergie (par exemple de l'ensilage de maïs). Toutefois, cela va à l'encontre de la philosophie *Feed no Food* (Non à l'utilisation de denrées alimentaires pour nourrir les animaux) et de la conversion relativement inefficace de ces fourrages par les ruminants.

Plus ou moins indépendamment de l'efficacité de la transformation des fourrages et de l'apport en protéines, les émissions peuvent également être réduites grâce à des **compléments alimentaires inhibiteurs de méthane tels que les tanins ou les graines de lin**. Le potentiel est relativement élevé par rapport à d'autres me-

**Tableau 2 | Mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) issues de l'agriculture suisse et leur potentiel de réduction.**

Mesure	Brève description	Potentiel (kt CO <sub>2</sub> eq*a <sup>-1</sup> )	Littérature
<b>Mesures techniques liées à la production</b>			
AOA Animaux monogastriques	Alimentation optimisée en azote (AOA) chez les animaux monogastriques; excrétion de N chez les porcs et la volaille dans la plage des valeurs minimales grâce à une optimisation de la ration alimentaire (alimentation à plusieurs phases, aliment NPr), ce qui réduit ainsi les pertes de NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O et NO <sub>3</sub> .	31	Kupper <i>et al.</i> 2018
AOA Bovins	Alimentation optimisée en azote (AOA) chez les bovins; prévention des excédents d'azote dans l'urine grâce à un rapport énergie-protéine équilibré dans la ration alimentaire, ce qui réduit ainsi les pertes de NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O et NO <sub>3</sub> .	70	Bracher <i>et al.</i> 2011
CA Tanins	Compléments alimentaires (CA) chez les bovins: tanins; inhibition ciblée de 16 % de la production microbienne de CH <sub>4</sub> dans la panse des vaches laitières.	305	Henzen <i>et al.</i> 2012
CA Graines de lin	Compléments alimentaires (CA) chez les bovins: graines de lin; inhibition ciblée de 16 % de la production microbienne de CH <sub>4</sub> dans la panse des vaches laitières.	305	Martin <i>et al.</i> 2008
Nombre de lactations	Répartition des émissions de la phase d'élevage non productive des vaches laitières sur une phase de production plus longue et une remonte plus efficace en augmentant le nombre moyen de lactations de 3,5 à 4,5.	200	Grandl <i>et al.</i> 2018
Sélection	Réduction des émissions de CH <sub>4</sub> de 18,5 % en ciblant la sélection sur une efficacité élevée de conversion alimentaire et de faibles émissions de CH <sub>4</sub> .	365	De Haas <i>et al.</i> 2011
Couverture des stocks de lisier	Réduction de 40 % des émissions de CH <sub>4</sub> provenant des stocks de lisier à ciel ouvert et de 25 % des émissions de NH <sub>3</sub> avec augmentation simultanée de l'efficacité de N.	44	Kupper <i>et al.</i> 2018
Acidification du lisier	Réduction de 50 % des émissions de CH <sub>4</sub> provenant du stockage du lisier; réduction de 50 % des émissions de NH <sub>3</sub> provenant du stockage et de l'épandage du lisier, avec augmentation simultanée de l'efficacité de N.	480	Kupper <i>et al.</i> 2017
Installations de biogaz	Fermentation anaérobie de tout le lisier de bovins et de porcs disponible et de tout le fumier de bovins disponible.	242	Burg <i>et al.</i> 2018
Efficacité de N (EF)	Augmentation de l'efficacité de l'azote dans la gestion des engrais de ferme (EF); empêcher l'utilisation systématique de l'autodéclaration et des marges de tolérance flexibles dans le Suisse-Bilanz (PER) et faire passer le taux d'exploitation de base de l'azote contenu dans les engrais de ferme de 60 à 65 %.	261	Bosshard <i>et al.</i> 2012
<b>Mesures basées sur les structures et la consommation</b>			
ÖkOpt	Conversion des structures agricoles (parts des surfaces, effectifs animaux) selon le scénario ÖkOpt pour atteindre les objectifs environnementaux relatifs à l'azote.	2077	Sutter <i>et al.</i> 2013
Alimentation équilibrée selon PA	Conversion des structures agricoles (parts des surfaces, effectifs animaux) pour permettre une alimentation équilibrée selon la pyramide alimentaire (PA) de la Société suisse de nutrition (SSN).	1544	Zimmermann <i>et al.</i> 2017
<b>Mesures d'incitation économique</b>			
Taxe sur les GES	Changement des structures agricoles (parts des surfaces, effectifs animaux) avec l'introduction d'une taxe de CHF 50.- par t CO <sub>2</sub> eq dans l'agriculture avec un scénario de prix moyens et élevés.	298–763	Peter <i>et al.</i> 2009
Taxe à la consommation	Changement des structures agricoles (parts des surfaces, effectifs animaux) avec l'introduction d'une taxe à la consommation sur la viande et le lait.	243	Schmidt <i>et al.</i> 2017
Redevance incitative sur les apports azotés	Changement des structures agricoles (parts des surfaces, effectifs animaux) avec l'introduction d'une redevance incitative sur les apports azotés (engrais minéraux et aliments pour animaux).	58	Schmidt <i>et al.</i> 2017

Aliment NPr = aliment à teneur réduite en azote et en phosphore; kt CO<sub>2</sub>eq = 1000 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>.

sures techniques. Cependant, il faut veiller à un dosage très précis afin que les microorganismes méthanogènes soient inhibés de manière ciblée sans réduire la digestibilité des fibres et/ou des protéines et donc sans baisser la productivité. Enfin, il faut également savoir que toutes les substances qui ne sont pas transformées en méthane ou digérées d'une autre manière se retrouvent finalement dans les engrais de ferme et constituent donc un substrat de départ pour d'autres émissions potentielles. Par ailleurs, il est nécessaire de pratiquer le *Precision Feeding* (Andeweg et Reisinger 2014). Cela ne signifie pas seulement une alimentation efficace et adaptée aux besoins des différentes catégories d'animaux et une optimisation à l'aide de compléments alimentaires. La

stratégie globale consiste plutôt à donner les différents aliments aux animaux chez qui l'efficacité de transformation des fourrages est la meilleure. La distribution de concentrés aux ruminants devrait faire l'objet d'un examen critique dans ce contexte, sachant que les animaux monogastriques peuvent utiliser ce type d'aliments beaucoup plus efficacement. Toutefois, l'évaluation doit également tenir compte de la concurrence entre l'alimentation animale et l'alimentation humaine. Une conversion complète de la structure des effectifs d'animaux de rente et des pratiques d'alimentation du bétail en Suisse pourrait contribuer de manière significative à la réduction des émissions de GES, mais n'a pas fait l'objet de recherches plus approfondies ici.

### Gestion du troupeau et sélection des bovins

Une lactation supplémentaire chez les vaches laitières et une sélection ciblée de l'efficacité et des faibles émissions de méthane permettraient d'obtenir des réductions de GES moyennes à élevées par rapport à d'autres mesures portant sur la production. En principe, les effets positifs sur l'environnement augmentent à chaque lactation supplémentaire, puisque les émissions de la phase d'élevage (non productive) peuvent être réparties sur une période de production toujours plus importante. Cependant, bien qu'on sache depuis longtemps que les vaches qui ont une longue durée de vie sont un atout, peu ou pas de progrès ont été réalisés en ce qui concerne le **nombre de lactations**. Cela s'explique, entre autres, par les prix attractifs de la viande bovine et par l'augmentation des risques de problèmes de fertilité et de maladie chez les animaux âgés. Des conditions-cadre généralement défavorables empêchent donc actuellement toute poursuite de développement dans ce sens. La réduction des émissions de CH<sub>4</sub> par la **sélection** peut théoriquement se faire en complément de toutes les autres mesures. Cependant, les stratégies de sélection tendent à se concentrer sur des objectifs différents et par conséquent les progrès dans un domaine précis risquent d'être lents. Malgré des avancées technologiques majeures, il reste encore des problèmes à surmonter avant que le critère de sélection «faibles émissions de méthane» puisse être mesuré de manière rentable et fiable. D'autres potentiels de réduction des GES pourraient être exploités grâce à des progrès en matière de fertilité et de santé ou grâce à des modifications de la structure du troupeau (croisements avec des races à viande, races à deux fins). En raison de la modélisation complexe de la structure du troupeau, ces potentiels n'ont pas encore été quantifiés pour la Suisse jusqu'ici.

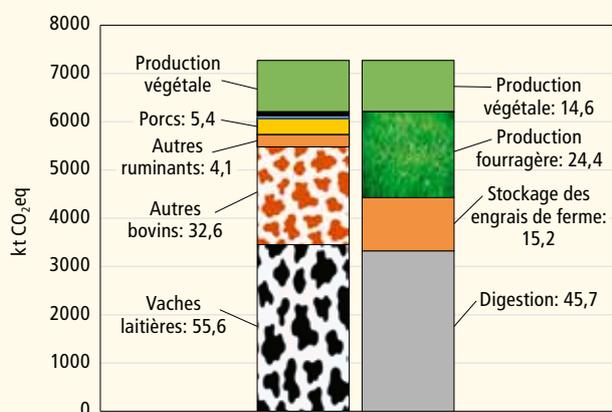


Figure 1 | Émissions de GES de l'agriculture suisse en 2016, réparties par catégories animales (pourcentages sans la production végétale) et par catégories d'émissions (kt CO<sub>2</sub>,eq = kilotonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>).

### Stockages des engrais de ferme

Des progrès ont déjà été réalisés dans le domaine du stockage des engrais de ferme grâce à des mesures prises en ce qui concerne l'ammoniac. Ainsi, la pratique très répandue qui consiste à **couvrir le stock du lisier** limite sévèrement le potentiel de cette mesure. Cependant, **l'acidification du lisier** présente un potentiel étonnamment élevé. La prévention des émissions de CH<sub>4</sub> dans les **installations de biogaz** recèle environ la moitié de ce potentiel. Toutefois, ces deux dernières mesures nécessitent une logistique et une gestion des processus complexes et/ou entraînent des coûts élevés.

### Efficacité de N dans l'exploitation des engrais de ferme (EF)

Diverses études ont montré que la réduction de l'excédent d'azote dans l'agriculture était l'une des options les plus efficaces pour réduire le N<sub>2</sub>O. La réduction des pertes totales d'azote permet de réduire les quantités d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et de nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) librement disponibles. La disponibilité du substrat étant réduite, les émissions de N<sub>2</sub>O diminuent également. Des études comparant l'efficacité d'un grand nombre d'exploitations agricoles, comme le Dépouillement centralisé des indicateurs agroenvironnementaux (OFAG 2016), montrent une grande variabilité de l'efficacité de l'azote dans les exploitations, en particulier aussi dans celles ayant des structures similaires. C'est la preuve qu'il existe un potentiel d'amélioration qui pourrait probablement être atteint rien que par l'application systématique des bonnes pratiques agricoles et une mise en œuvre conséquente des directives. Toutefois, à l'heure actuelle, les agriculteurs ne reçoivent guère d'encouragements pour s'améliorer, comme le montrent les pertes constantes d'azote de ces dernières années. Cependant, une comparaison avec d'autres mesures indique que l'impact de la mesure qui est modélisée ici, à savoir «**l'efficacité de N dans les EF**», sur les émissions totales de GES est relativement faible. La principale raison en est que les effectifs d'animaux sont restés constants dans les calculs, si bien que les grandes catégories d'émissions telles que les émissions de CH<sub>4</sub> provenant de la digestion et du stockage des engrais de ferme ne sont pas touchées par la mesure.

### Conclusion concernant les mesures techniques portant sur la production

Les potentiels de réduction identifiés dans cette étude se recoupent largement avec ceux d'autres études. Cependant, les analyses correspondantes sont le plus souvent de nature théorique. Les observations qui pré-

cèdent font apparaître de nombreux problèmes dans la mise en œuvre pratique des mesures techniques portant sur la production. Il s'agit notamment des transferts d'émissions, des conflits d'objectifs avec d'autres impacts environnementaux, de la baisse de la production, de conditions-cadre défavorables, de l'absence d'incitations, de coûts élevés et/ou d'une gestion des processus et d'une logistique difficiles. En outre, divers aspects tels que l'effet sur une longue période de temps ou dans des conditions pratiques variables n'ont pas encore été suffisamment étudiés. La complexité de la matière fait que souvent les chefs d'exploitation ne sont guère en mesure, à eux seuls, de progresser et de changer leur gestion de manière à réduire les émissions. Par ailleurs, en raison des petites structures typiques de la Suisse, il est difficile pour beaucoup de petites exploitations d'acquérir le savoir-faire nécessaire et/ou de réaliser des investissements. Les problèmes surgissent également dans les premiers projets pilotes dans la pratique, où il est très difficile d'atteindre les réductions d'émissions prévues, même avec un soutien technique et financier. Le potentiel réellement utilisable de nombreuses mesures techniques portant sur la production est donc remis en question.

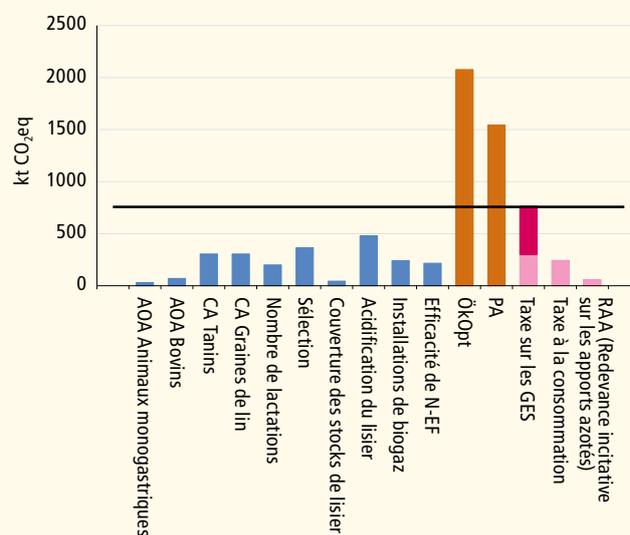
### Mesures basées sur les structures agricoles et la consommation

L'influence du comportement des consommateurs sur la production agricole et les émissions de GES qui y sont liées est de plus en plus discutée dans la littérature scientifique. Comme le montre également la présente étude, une modification des structures agricoles associée à un changement de régime alimentaire humain davantage basé sur les aliments d'origine végétale présente un potentiel considérable, qui dépasse de loin l'effet des mesures techniques portant sur la production. Même dans un scénario relativement modéré, c'est-à-dire avec une **alimentation équilibrée selon la pyramide alimentaire**, la réduction des émissions serait trois fois supérieure au potentiel de la meilleure mesure technique portant sur la production. L'effet principal est imputable à la forte réduction de la consommation de viande et à la diminution des effectifs d'animaux de rente qui en découle. Outre la réduction des GES, ce scénario a également des effets positifs sur divers autres aspects environnementaux (p. ex. Zimmermann *et al.* 2017) et notamment sur la santé. Dans le cas des mesures portant sur les structures et la consommation, les effets secondaires négatifs sur l'environnement sont pratiquement inexistantes. La principale difficulté est plutôt d'amorcer un changement de comportement, en particulier chez les consommatrices et

les consommateurs. Les trois mécanismes économiques étudiés ici (**taxe sur les GES, taxe à la consommation, redevance incitative sur les apports azotés**) ont un effet plutôt limité sur le comportement des consommateurs et les structures agricoles. Les principales raisons en sont le manque d'élasticité-prix (faible baisse de la demande en cas de hausse des prix; Peter *et al.* 2009; Schmidt *et al.* 2017). Toutefois, la conversion à une plus grande durabilité peut également être encouragée sans incitation monétaire ou en plus de celle-ci. Les campagnes de sensibilisation, les systèmes de label et l'étiquetage des produits et/ou un rôle exemplaire de précurseur des autorités en termes d'attribution des marchés publics sont des mesures qui peuvent orienter la consommation et la production dans la bonne direction. D'autant plus que l'argument de la santé peut également être inclus.

## Conclusions et perspective

Des listes de mesures de réduction des GES telles que celle présentée ici ont été établies ces dernières années par de nombreuses institutions dans différents pays (par exemple Henzen *et al.* 2012; Osterburg *et al.* 2013; Peter *et al.* 2009). Cependant, malgré le grand nombre de



**Figure 2 |** Potentiel des différentes mesures et stratégies de réduction des gaz à effet de serre (GES) dans l'agriculture suisse (voir tabl. 2) par rapport à l'objectif du secteur agricole pour 2030 (ligne horizontale en gris). En bleu: mesures techniques portant sur la production; en marron: potentiels basés sur la structure et la consommation; en rose: mesures d'incitation économique (taxe sur les GES: potentiels dans le cas de scénarios de prix élevés (rose clair) et moyens (rose foncé). CA: compléments alimentaires; EF: engrais de ferme; PA: alimentation équilibrée selon la pyramide alimentaire; AOA: alimentation optimisée en azote; ÖkOpt: structures agricoles selon le scénario «ÖkOpt»; RAA: Redevance incitative sur les apports azotés.

recommandations pratiques et la promotion de différentes mesures par la politique agricole, les émissions agricoles des pays de l'OCDE et de la Suisse sont restées plus ou moins constantes depuis 2000. En conséquence, il paraît important d'étudier de manière plus approfondie les causes qui expliquent l'absence de progrès en général et les obstacles à l'application des mesures en particulier.

Les présents résultats, ainsi que de nombreuses autres études, montrent que le potentiel des diverses mesures techniques portant sur la production est limité. En outre, les mesures individuelles s'excluent mutuellement et l'effet d'un ensemble de mesures est généralement inférieur à la somme des potentiels individuels. Pour parvenir à des réductions substantielles des émissions dans le secteur agricole et atteindre les objectifs fixés, il est nécessaire de modifier les structures actuelles de l'élevage et donc la proportionnalité entre la production animale et végétale. Des conditions-cadre devraient être mises en place qui, d'une part, favorisent la mise

en œuvre d'un grand nombre de mesures techniques portant sur la production, mais aussi permettent et amorcent des changements structurels, lorsque c'est nécessaire. Renoncer à des réglementations techniques excessives et fixer des objectifs ambitieux et contraignants permettra de garantir une flexibilité maximale dans la mise en œuvre des mesures adaptée aux sites et aux exploitations. En outre, ceci permettrait d'initier d'autres innovations pour surmonter les conflits d'objectifs et réduire les émissions de GES. Parallèlement, l'évolution vers un régime alimentaire respectueux des ressources devrait être accélérée afin de soutenir les changements nécessaires dans les structures agricoles du côté de la demande. En fin de compte, la production agricole, l'industrie de transformation, la distribution et la consommation alimentaire doivent être harmonisées dans une approche intégrative afin d'assurer la durabilité. Compte tenu de la progression du changement climatique et de la baisse minime des émissions de gaz à effet de serre, il est urgent d'agir. ■

#### Bibliographie

- Andeweg K. & Reisinger A., 2014. Reducing greenhouse gas emissions from livestock: Best practice and emerging options. Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases (GRA), Sustainable Agriculture Initiative (SAI).
- Bosshard C., Spiess E. & Richner W., 2012. Überprüfung der Methode Suisse-Bilanz: Schlussbericht. Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zurich.
- Bracher A., Schlegel P., Mürger A., Stoll W. & Menzi H., 2011. Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh (Milchkuh). SHL, Agroscope. Posieux.
- Bretscher D., Lansche J. & Felder D., 2015. Klimaschutz und Ernährung. In: Agrarbericht 2015. Office fédéral de l'agriculture OFAG, Berne.
- Burg V., Bowman G., Haubensak M., Baier U. & Thees O., 2018. Valorization of an untapped resource: Energy and greenhouse gas emissions benefits of converting manure to biogas through anaerobic digestion. *Resources, Conservation and Recycling* 136, 53–62.
- de Haas Y., Windig J. J., Calus M.P.L., Dijkstra J., de Haan M., Bannink A. & Veerkamp R.F., 2011. Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. *Journal of Dairy Science* 94 (12), 6122–6134.
- FOEN, 2018. Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2016: National Inventory Report, CRF-tables. Submission of April 2018 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Federal Office for the Environment, Bern. Accès: <http://www.climate-reporting.ch> [31.8.18].
- Grandl F., Furger M., Kreuzer M. & Zehetmeier M., 2018. Impact of longevity on greenhouse gas emissions and profitability of individual dairy cows analysed with different system boundaries. *Animal*, 1–11. Accès: <https://doi.org/10.1017/S175173111800112X> [5.9.18].
- Henzen C., Angele H.-C., Maerki A., Meyer A., Meyer R. & Steiner R., 2012. Ressourcen- und Klimaeffizienz in der Landwirtschaft: Potenzialanalyse. AgroCleanTech c/o Schweizerischer Bauernverband. Brugg.
- Kupper T., 2017. Beurteilung der Ansäuerung von Gülle als Massnahme zur Reduktion von Ammoniakemissionen in der Schweiz – Aktueller Stand. Hochschule für Agrar-, Forst-, und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft BLW. Bern.
- Kupper T., Bonjour C., Menzi H., Bretscher D. & Zaucker F., 2018. Ammoniakemissionen der schweizerischen Landwirtschaft 1990–2015 und Prognosen bis 2030. Hochschule für Agrar-, Forst-, und Lebensmittelwissenschaften HAFL im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Zollikofen. En préparation.
- Martin C., Rouel J., Jouany J.P., Doreau M. & Chilliard Y., 2008. Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *Journal of Animal Science* 86 (10), 2642–2650.
- Möhring A., Mack G., Ferjani A., Kohler A. & Mann S., 2015. Swiss Agricultural Outlook. Agroscope Science 23, Agroscope, Ettenhausen.
- OFAG, 2011. Stratégie Climat pour l'agriculture: Protection du climat et adaptation au changement climatique pour une agriculture et une économie alimentaire suisses durable. Office fédéral de l'agriculture OFAG, Berne.
- OFAG, 2016. Rapport agricole 2016. Office fédéral de l'agriculture OFAG. Berne.
- Osterburg B., Rüter S., Freibauer A., de Witte T., Elsasser P., Kätsch S., Leischer B., Paulsen H. M., Rock J., Röder N., Sanders J., Schweinle J., Steuk J., Stichnothe H., Stümer W., Welling J. & Wolf A., 2013. Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft. Johannes Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 11, Braunschweig.
- Peter S., Hartmann M., Weber M., Lehmann B. & Hediger W., 2009. THG 2020 – Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz. Gruppe Agrar-, Lebensmittel und Umweltökonomie des Interdepartementalen Instituts für Umweltentscheidungen ETH. Info Agrar Wirtschaft Schriftenreihe 2009/1, Zurich.
- Schmidt A., Mann S. & Mack G., 2017. Instrumente Evaluation Stickstoff (IES): Schlussbericht. Agroscope, Ettenhausen.
- Sutter M., Menzi H. & Reidy B., 2013. Ökologische Optimierung des landwirtschaftlichen Produkteportfolios (ÖkOpt). Dokumentation zu den im Auftrag von INFRAS erstellten Modellrechnungen der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL. Zollikofen.
- Zimmermann A., Nemecek T. & Waldvogel T., 2017. Umwelt- und ressourcenschonende Ernährung: Detaillierte Analyse für die Schweiz. *Agroscope Science* 55, Agroscope, Ettenhausen.

**Riassunto****Emissioni di gas serra riconducibili alla detenzione di animali da reddito: potenziale di riduzione**

La Svizzera ha deciso di ridurre le emissioni di gas serra riconducibili all'agricoltura di almeno un terzo rispetto al 1990 entro il 2050. Quest'obiettivo di politica agricola e climatica può essere raggiunto adottando provvedimenti tecnici sul fronte della produzione e/o adeguando le strutture agricole (quota di superfici, effettivi di bestiame). Poiché l'85 per cento circa di tutte le emissioni di gas serra riconducibili all'agricoltura è generato dalla detenzione di animali, si è analizzato il potenziale dei provvedimenti di riduzione in questo settore. L'analisi, basata sui metodi e i modelli dell'inventario nazionale dei gas serra, ha evidenziato che i provvedimenti tecnici sul fronte della produzione offrono prestazioni di riduzione piuttosto modeste, che possono comportare conflitti di obiettivi con altri impatti ambientali e che la loro applicazione comporta difficoltà tecniche. È quindi molto improbabile che l'obiettivo settoriale per l'agricoltura possa essere raggiunto per mezzo di tali provvedimenti. L'adeguamento delle strutture agricole, affiancato da un cambiamento del consumo alimentare a favore dei prodotti di origine vegetale, racchiude invece un potenziale notevole e rappresenta una soluzione adatta a realizzare l'obiettivo.

**Summary****Potential for reducing greenhouse gas emissions from Swiss animal husbandry**

The Swiss agricultural and climate policy-making sector has set itself the target of reducing agricultural greenhouse gas emissions by at least one-third by 2050 compared to 1990's figures. This target can be achieved via technical measures on the production side and/or by reorganising agricultural structures (area percentages, animal populations). Animal husbandry is responsible for approx. 85 % of agricultural greenhouse gas emissions. Accordingly, the potentials of reduction measures in the animal husbandry sector were investigated, based on the models and methods of the National Greenhouse Gas Inventory. Technical measures on the production side are characterised by fairly low reduction performances and/or by tradeoffs with other environmental impacts, as well as by technical problems with implementation. The agricultural-sector target is therefore unlikely to be achievable with measures of this sort alone. By contrast, a reorganisation of agricultural structures accompanied by a shift to an increasingly plant-based diet harbours great potential, and presents itself as a promising approach.

**Key words:** livestock, greenhouse gas emissions, emission reduction potentials.